

ESTIMASI SEBARAN SUSEPTIBILITAS BATUAN PERMUKAAN MENGGUNAKAN GEOSTATISTIK DI KECAMATAN LORE PEORE

(Estimated suseptibility distribution of rock surface using geostatistical in the District of Lore Peore)

Yutdam Mudin¹⁾ Ardi Yansah¹⁾ Rustan Efendi¹⁾ Abdullah¹⁾

Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

Email:ardi.sahril20@gmail.com CP:085342793384

ABSTRAK

Penelitian pemetaan sebaran nilai suseptibilitas magnetik telah dilakukan di daerah Kecamatan Lore Peore Kabupaten Poso, Sulawesi Tengah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sebaran suseptibilitas menggunakan Geostatistik dengan metode *Ordinary kriging* dan memetakan sebaran logam magnetik di daerah Kecamatan Lore Peore. Penelitian ini dilakukan secara langsung melalui pengukuran nilai suseptibilitas magnetik menggunakan instrumen suseptibilitymeter MS2D (Bartington). Nilai pengukuran selanjutnya diolah dalam *software* GIS secara Geostatistik dengan menggunakan metode *Ordinary kriging*. Hasil estimasi menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik batuan permukaan berada pada rentang $238,16 \times 10^{-6}$ SI sampai $245,03 \times 10^{-6}$ SI. Nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan merupakan nilai suseptibilitas magnetik dari mineral lempung dan lempung berpasir. Logam magnetik di daerah penelitian diduga berada di tiga Desa daerah penelitian yaitu Desa Siliwanga, Desa Watutau dan Desa Betue yang ditandai dengan tingginya nilai suseptibilitas magnetik lempung yang didapatkan yakni berkisar antara $238,16 \times 10^{-6}$ SI sampai $245,03 \times 10^{-6}$ SI.

Kata Kunci : *suseptibilitas magnetik, mineral, geostatistik, ordinary kriging*.

ABSTRACT

The study mapping the distribution of magnetic susceptibility values have been conducted in the subdistrict of Lore Peore Poso District, Central Sulawesi. The purpose of this study is to identify the susceptibility distribution using Geostatistical with Ordinary kriging method and map the distribution of magnetic metals in the District of Lore Peore. This research was done directly through the measurement of magnetic susceptibility values using instruments suseptibilitymeter MS2D (Bartington). The measurement values subsequently processed in a GIS Geostatistical software using Ordinary kriging method. The estimation results show the value of magnetic susceptibility of surface rock is in the range $238,16 \times 10^{-6}$ SI to $245,03 \times 10^{-6}$ SI. Magnetic susceptibility value obtained is the value of magnetic susceptibility of mineral clay and sandy loam. Magnetic metals in the study area suspected to be at three Village area of research that Siliwanga Village, Village and Village Watutau Betue characterized by high magnetic susceptibility values obtained clay which ranged between $238,16 \times 10^{-6}$ SI to $245,03 \times 10^{-6}$ SI.

Keywords : *magnetic, susceptibility, mineral, geostatistical, ordinary kriging, metals*.

PENDAHULUAN

Batuan permukaan merupakan lapisan batuan penyusun kerak bumi. Batuan tersusun dari 1 mineral atau lebih dengan nilai magnetik yang berbeda-beda. Mineral magnetik dapat diidentifikasi dengan menggunakan beberapa metode. Salah satu metode yang sering digunakan yaitu metode kemagnetan batuan (*rockmagnetic method*). Metode ini didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnetik di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi atau disebut dengan suseptibilitas. Suseptibilitas magnetik suatu bahan merupakan ukuran kuantitatif bahan tersebut untuk dapat termagnetisasi jika dikenakan pada medan magnetik (Tipler, 2001).

Pengukuran suseptibilitas magnetik dari titik sampel di alam terbuka akan memberikan informasi tentang mineral yang terkandung di dalam sampel tersebut (Trianto, 2002). Banyaknya mineral-mineral yang bersifat magnetik pada batuan akan mempengaruhi besar kecilnya nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan, semakin besar jumlah mineral-mineral yang bersifat magnetik maka akan semakin besar pula nilai suseptibilitas magnetiknya dan begitu pula sebaliknya. Nilai suseptibilitas magnetik batuan selalu berbeda antara satu dengan yang lainnya. Hal ini menyebabkan suseptibilitas batuan tersebar secara tidak merata di permukaan. Salah satu tehnik yang telah banyak digunakan untuk menganalisis sebaran data adalah tehnik geostatistik.

Geostatistik merupakan jembatan antara statistika dan *Geographic Information system* (GIS). Analisis geostatistik merupakan teknik geostatistika yang terfokus pada informasi *spasial*, yaitu hubungan antara variabel yang diukur pada titik tertentu dengan variabel yang sama diukur pada titik dengan jarak tertentu dari titik pertama. Dalam metode geostatistik dikenal metode *kriging*, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai kasus dalam data geostatistik, misalnya terdapat kandungan mineral tersampel yang tidak memiliki kecenderungan tertentu. Metode Kriging ini pula terdiri atas metode *simple kriging* dan *ordinary kriging*. Metode *Simple kriging* digunakan pada saat rata-rata populasi diketahui, sedangkan pada *ordinary kriging* digunakan pada saat rata-rata populasi tidak diketahui. Namun dalam penelitian ini digunakan metode *ordinary kriging* dengan pertimbangan bahwa metode tersebut lebih efektif untuk diaplikasikan di Daerah Kecamatan Lore Peore.

Berdasarkan peta geologi Lembar Poso, daerah Kecamatan Lore Peore terdiri dari endapan danau, granit Kambuno, Formasi Latimojong dan Formasi Watutau. Masing-masing formasi batuan terdiri dari berbagai macam batuan penyusunnya. Keragaman formasi dan batuan penyusunnya ini mengindikasikan adanya keanekaragaman nilai suseptibilitas batuan. Perbedaan nilai suseptibilitas batuan ini diukur dengan menggunakan Bartington Suseptibility Meter (MS2D) yang dilakukan secara *in-situ* atau secara langsung pada daerah penelitian. Daerah penelitian relatif luas, sehingga proses pengolahan data magnetik menggunakan Geostatistik dengan metode *ordinary kriging* dinilai sangat tepat karena dapat menghemat waktu, tenaga dan biaya.

Suseptibilitas Magnetik dan Sifat Mineral Magnetik

Menurut Telford (1996), tingkat suatu benda magnetik untuk mampu dimagnetisasi ditentukan oleh suseptibilitas kemagnetan atau κ . Besaran yang tidak berdimensi ini merupakan parameter dasar yang dipergunakan dalam metode magnetik. Harga κ pada batuan semakin besar apabila dalam batuan tersebut semakin banyak dijumpai banyak mineral-mineral yang bersifat magnetik (Telford, 1996).

Suseptibilitas magnetik sebagian besar material tergantung pada temperatur, tetapi beberapa material (feromagnetik dan *ferrite*) tergantung pada H . Secara umum dapat ditulis sebagai berikut:

$$B = (\mu_0(H + M) = \mu_0 H(1 + \kappa) = \mu_0 \mu H \quad (1)$$

Keterangan:

B = Induksi Magnetik

μ_0 = Permeabilitas ruang hampa

M = Magnetisasi

H = Medan magnet

κ = Nilai suseptibilitas magnetik persatuan volume (SI)

Kuantitas $\mu = (1 + \kappa)$ adalah permeabilitas magnetik dari material, tidak memiliki dimensi, μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7}$ m/A). Logam feromagnetik memiliki permeabilitas magnetik sangat tinggi, sedangkan logam diamagnetik merupakan mineral dan batuan yang memiliki suseptibilitas kecil dan permeabilitas magnetik $\mu \approx 1$. Untuk bahan paramagnetik, χ_m berupa bilangan positif kecil yang bergantung pada temperatur. Untuk bahan diamagnetik, χ_m berupa bilangan negatif kecil yang tidak bergantung pada temperatur. Berdasarkan nilai χ_m bahan yang ada di alam dapat diklasifikasikan berdasarkan tinggi rendahnya nilai suseptibilitas magnetik dari bahan tersebut (Tipler, 2001).

Geostatistik

Prinsip dasar geostatistika adalah bahwa area yang saling berdekatan cenderung memiliki bobot nilai yang tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan nilai yang tidak berdekatan. Data geostatistik mengarah pada data sampel yang berupa titik, baik beraturan (*regular*) maupun tidak beraturan (*irregular*) dari suatu distribusi *spasial* kontinu (Puspita, 2013).

Kriging adalah suatu teknik perhitungan untuk estimasi dari suatu variabel terregional yang menggunakan pendekatan bahwa data yang dianalisis dianggap sebagai suatu realisasi dari suatu variabel acak, dan keseluruhan variabel acak yang dianalisis tersebut akan membentuk suatu fungsi acak menggunakan model struktural variogram. Secara umum, *kriging* merupakan suatu metode yang digunakan untuk menganalisis data geostatistik, yaitu untuk menginterpolasi suatu nilai kandungan mineral berdasarkan data sampel. Data sampel pada ilmu kebumih biasanya diambil dari lokasi-lokasi atau titik yang tidak beraturan. Dengan kata lain, metode ini digunakan untuk mengestimasi besarnya nilai \hat{Z} pada titik tidak tersampel berdasarkan informasi dari karakteristik titik-titik tersampel Z yang berada di sekitarnya dengan

mempertimbangkan korelasi *spasial* yang ada dalam data tersebut (Puspita, 2013).

Menurut Bohling (2005), bahwa estimator kriging $\hat{Z}(s)$ dari $Z(s)$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\hat{Z}(s) - m(s) = \sum_{i=1}^n \lambda_i [Z(s_i) - m(s_i)] \quad (2)$$

Keterangan:

\hat{Z} = Estimator kriging

s, s_i = Lokasi untuk estimasi dan salah satu lokasi dari data yang berdekatan, dinyatakan dengan i

$m(s)$ = Nilai ekspektasi dari $Z(s)$

$m(s_i)$ = Nilai ekspektasi dari $Z(s_i)$

λ_i = Faktor bobot

n = Banyaknya data sampel yang digunakan untuk estimasi

$Z(s)$ dianggap sebagai bidang acak dengan suatu komponen trend $m(s)$ dan komponen sisa $E(s) = Z(s) - m(s)$. Estimasi kriging untuk sisa pada s adalah jumlah berbobot dari sisa pada sekitar data titik. Nilai λ_i diturunkan dari fungsi kovariansi atau semivariogram, yang harus mencirikan komponen sisa.

Tujuan *kriging* adalah untuk menentukan nilai λ_i yang meminimalkan variansi pada estimator, dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{\sigma}_E^2 = \text{var}\{\hat{Z}(s) - Z(s)\} \quad (3)$$

Dengan pendekatan tak bias:

$$E(\hat{Z}(s) - Z(s)) = 0 \quad (4)$$

Menurut Puspita, dkk., (2013), bahwa *ordinary kriging* adalah suatu metode yang terdapat pada metode *kriging* yang sering digunakan dalam geostatistik. Pada metode ini, memiliki asumsi khas untuk penerapan yang mudah digunakan dari *ordinary kriging* adalah *intrinsic stationarity* dari bidang dan pengamatan yang cukup untuk mengestimasi variogram.

Semivariogram digunakan untuk mengamati korelasi antar data sampel. Dalam metode penaksiran *ordinary kriging*, semivariogram digunakan untuk membentuk sistem persamaan *ordinary kriging* (Widhita, 2008).

Menurut Widhita (2008), ada 2 macam semivariogram yaitu semivariogram isotropik dan semivariogram anisotropik. Bila semivariogram dihitung dalam berbagai arah dan setiap arah memberikan nilai parameter yang sama disebut isotropik, artinya semivariogram hanya bergantung pada jarak, h . Apabila semivariogram bergantung pada jarak h dan arah maka fenomena ini disebut anisotropik. Secara umum semivariogram dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\gamma(h) = \left(\frac{1}{2}\right) E\{[Z(s+h) - Z(s)]^2\} \quad (5)$$

Menurut Widhita (2008), ada beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk mendapatkan model semivariogram. Tahap pertama, semivariogram dihitung dari data sampel. Semivariogram seperti ini disebut semivariogram eksperimental dan dapat dinyatakan sebagai:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2[N(h)]} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(s_i+h) - Z(s_i)]^2 \quad (6)$$

Pada waktu pembuatan semivariogram, data diambil dari arah yang berbeda. Pemilihan jumlah arah yang tepat biasanya memerlukan beberapa eksperimentasi, karena arah yang ditentukan akan berpengaruh terhadap banyaknya pasangan titik sampel. Makin banyak pasangan titik sampel yang diperoleh tentu makin banyak juga informasi yang diperoleh. Untuk menyelidiki anisotropik, biasanya dipilih minimal 4 arah. Kemudian dilihat apakah ada perbedaan nilai parameter semivariogram pada masing-masing arah tersebut (Widhita, 2008).

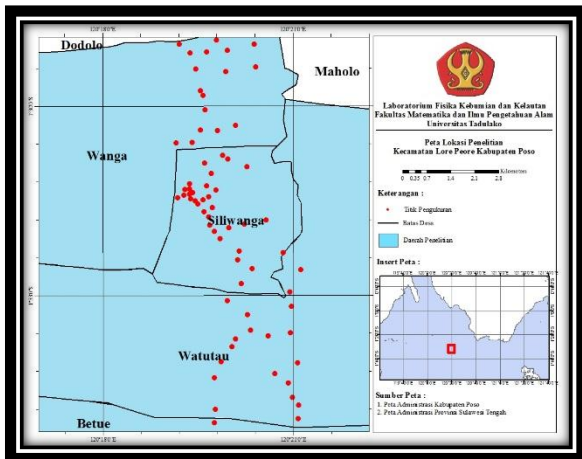
Peluang mendapatkan pasangan data yang memiliki jarak tepat h pada satu arah yang dicari sangat kecil, karena itu perlu ada toleransi jarak dan toleransi arah. besar toleransi arah dan toleransi jarak ditentukan berdasarkan simulasi sampai diperoleh toleransi arah dan toleransi jarak terkecil yang memberikan jumlah pasangan data terbaik. Setelah dipilih arah, toleransi arah dan toleransi jaraknya, kemudian semivariogram eksperimental dihitung dan diklasifikasikan berdasar arah dan jarak yang dipilih (Widhita, 2008).

Berdasarkan hasil perhitungan semivariogram eksperimental untuk masing-masing arah, hasil tersebut diplot untuk masing-masing arah. Plot semivariogram tersebut akan dicocokkan dengan model semivariogram (Widhita, 2008).

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada di 4 desa yaitu Desa Wangsa, Desa Siliwanga, Desa Watutau dan Desa Betue yang terletak di Kecamatan Lore Peore Kabupaten Poso.

Proses pengambilan data atau pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Susceptibility Meter* MS2D Bartington. Data yang terukur merupakan data suseptibilitas magnetik batuan permukaan yang didapatkan melalui proses pengukuran yang dilakukan secara *in-situ* (pengukuran langsung di lapangan). Untuk mendapatkan data magnetik yang baik maka proses pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali pada masing-masing titik pengukuran dan kemudian dirata-ratakan. Data pengukuran yang didapatkan tersebut kemudian di estimasi menggunakan metode *Ordinary Kriging* pada software GIS.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

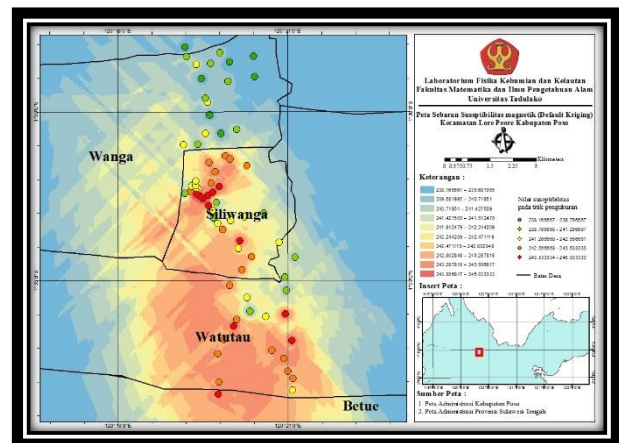
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengukuran yang diperoleh tidak cenderung pada satu nilai suseptibilitas magnetik saja atau data pengukuran telah bersifat stasioner, bahkan nilai data pengukuran justru menggambarkan perbedaan nilai suseptibilitas yang bervariasi. Nilai suseptibilitas yang bervariasi tersebut menunjukkan adanya pembagian anomali di lokasi penelitian dimana terdapat daerah anomali yang tinggi (*high intensitas*) dan anomali yang rendah (*low intensitas*). Hasil pengukuran yang tergolong dalam anomali yang rendah (*low intensitas*) berada pada rentang nilai $238,16 \times 10^{-6}$ SI - $240,93 \times 10^{-6}$ SI sedangkan hasil pengukuran yang tergolong dalam anomali yang tinggi (*high intensitas*) berada pada rentang nilai $241,13 \times 10^{-6}$ SI - $245,03 \times 10^{-6}$ SI. Berdasarkan lokasi titik data sampel diketahui bahwa sebaran data pengukuran tidak terdistribusi secara baik.

Distribusi data ini akan mempengaruhi besarnya nilai *error* yang didapatkan ketika dilakukan estimasi nilai suseptibilitas batuan pada daerah penelitian.

Hasil estimasi suseptibilitas magnetik yang diperoleh berupa peta sebaran nilai suseptibilitas magnetik. Proses estimasi dilakukan menjadi 2 tahap dan menghasilkan 2 peta hasil estimasi. Tahap pertama dilakukan dengan menggunakan *Ordinary kriging* standar atau *default kriging* sedangkan proses estimasi pada tahap kedua dilakukan setelah proses analisis peta dari tahap pertama selesai dilakukan. Peta sebaran suseptibilitas magnetik pada proses estimasi tahap pertama ditunjukkan pada Gambar 2.

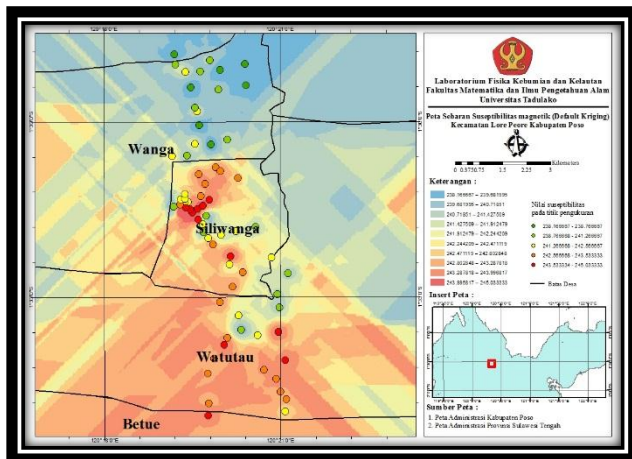
Nilai suseptibilitas magnetik hasil pengukuran menggunakan Bartington suseptibility meter yang berkisar antara $238,16 \times 10^{-6}$ SI sampai $245,03 \times 10^{-6}$ SI merupakan nilai suseptibilitas magnetik yang bersifat paramagnetik. Paramagnetik mempunyai harga kerentanan magnetik (*k*) positif. Contoh logam magnetik dari bahan paramagnetik adalah mangan (Mg), tembaga, aluminium, magnesium, litium, natrium dan kali. Setelah proses estimasi yang dilakukan secara standar selesai, maka selanjutnya data di analisis dengan tujuan untuk menghasilkan estimasi sebaran suseptibilitas magnetik batuan yang memiliki nilai *error* lebih rendah dari hasil estimasi pada tahap pertama. Hal yang dianalisis yaitu tentang sebaran data, nilai data yang didapatkan dan jarak antara titik data satu dengan yang lainnya.



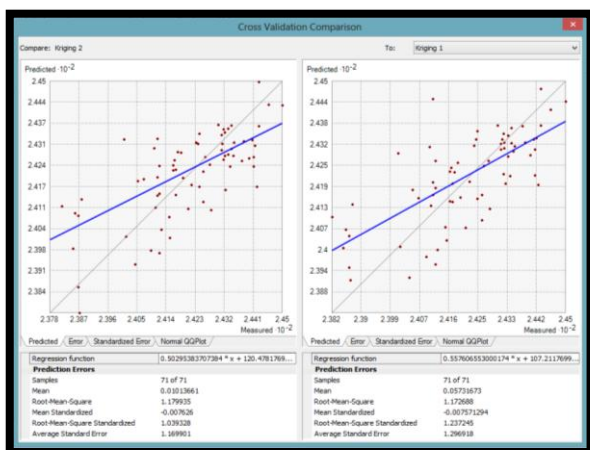
Gambar 2. Peta sebaran suseptibilitas batuan pada estimasi tahap pertama

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa data pengukuran tidak terdistribusi secara normal dengan panjang korelasi maksimum antar data adalah 1.138 m dan nilai data hasil pengukuran cenderung meningkat pada daerah pengukuran di Desa Siliwanga hingga Desa Betue

yang menyebabkan kurva *trend analysis* membentuk kurva parabola terbuka ke bawah sehingga dalam melakukan estimasi sangat cocok untuk menggunakan *polynomial* orde dua. Selanjutnya, karena kecenderungan atau trend dari data bersifat menyebar ke seluruh arah maka tahap estimasi juga dirubah menjadi menggunakan *anisotropy*. Hasil estimasi sebaran suseptibilitas magnetik batuan permukaan pada tahap kedua dengan mempertimbangkan hasil analisis yang telah dilakukan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta sebaran suseptibilitas batuan pada estimasi tahap kedua



Gambar 4. Perbandingan antara kriging tahap 2 dan kriging tahap 1

Perbandingan hasil estimasi pada tahap 2 dan tahap 1 ditampilkan pada Gambar 4.

Berdasarkan kedua proses estimasi yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa estimasi kriging tahap 2 lebih baik. Hal ini karena pada tahap estimasi kedua memiliki *average standar error* dan *root-mean-square standardized* yang lebih kecil yaitu 1,03928 dan 1,169901 sedangkan pada

estimasi tahap pertama didapatkan nilai 1,237245 dan 1,296918.

Nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan merupakan nilai suseptibilitas magnetik dari lempung. Nilai suseptibilitas magnetik lempung berkisar 170×10^{-6} SI sampai 250×10^{-6} SI. Mineral lempung yang berada pada daerah penelitian berupa lempung dan lempung berpasir dengan kandungan logam magnetik yang diduga terdiri dari aluminium, tembaga dan beberapa logam magnetik lainnya yang berasal dari hasil pelapukan batuan seperti klorit, magnesium (Mg) dan sedikit besi (Fe). Hasil pelapukan berasal dari Formasi Granit Kambuno yang kemudian terbawa melalui longsoran ataupun arus sungai. Hal ini dapat dibuktikan dengan kondisi topografi dari ketiga desa tersebut yang lebih rendah dibanding dengan kondisi topografi batuan Formasi Granit Kambuno yang berupa pegunungan dan perbukitan. Batuan Formasi Granit Kambuno tersusun dari granit dan granodiorit yang terdiri granit biotit, granit horenbenda biotit, mikroleukogranit, mikrogranit horenbenda biotit, dan mafik horenbenda.

Berdasarkan struktur geologi daerah penelitian diketahui bahwa titik pengukuran berada pada batuan Formasi Napu dan endapan danau dimana masing-masing formasi ini juga tersusun atas lempung. Namun khusus pada titik pengukuran yang berada di batuan Formasi Napu memiliki lapisan lempung yang sangat tipis karena hanya berupa sisipan. Lempung merupakan penyusun batuan permukaan yang terletak paling atas dengan ketebalan beberapa sentimeter sampai beberapa meter.

Berdasarkan hasil *trend analysis* diketahui bahwa nilai suseptibilitas magnetik batuan yang berada di Desa Wangsa lebih rendah dengan nilai $238,16 \times 10^{-6}$ SI sampai $242,47 \times 10^{-6}$ SI. Nilai suseptibilitas magnetik yang rendah di desa ini berada di sekitar perkebunan warga yang mengindikasikan bahwa tanah di daerah perkebunan warga tersebut mengandung sedikit logam. Sedangkan nilai suseptibilitas yang berada di daerah hutan lindung berkisar antara 238,16 sampai 239,68 10^{-6} SI. Nilai ini memiliki error yang cukup tinggi disebabkan karena sebaran titik pengukuran tidak tersebar merata di seluruh kawasan Kecamatan Lore Peore. Selanjutnya pada daerah penelitian di Desa Siliwanga, Watutau dan Betue mempunyai nilai suseptibilitas magnetik rata-rata lebih tinggi yakni berkisar antara $238,16 \times 10^{-6}$ SI sampai $245,03 \times 10^{-6}$ SI yang mengindikasikan bahwa kandungan mineral logam yang berada di daerah ini

lebih banyak dari kandungan logam yang berada di daerah penelitian lain.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai suseptibilitas batuan permukaan di Kecamatan Lore Peore yaitu $238,16 \times 10^{-6}$ SI sampai $245,03 \times 10^{-6}$ SI yang merupakan nilai suseptibilitas magnetik dari mineral lempung dan lempung berpasir dengan kandungan logam terdiri dari aluminium, tembaga dan beberapa logam magnetik lainnya yang berasal dari hasil pelapukan batuan seperti klorit, magnesium (Mg) dan sedikit besi (Fe).
2. Mineral logam diduga berada pada daerah penelitian di 3 desa yaitu Desa Siliwanga, Desa Watutau, dan Desa Betue. Mineral logam yang berada di 3 desa ini merupakan hasil pelapukan dari batuan Formasi Granit Kambuno yang tersusun dari granit dan granodiorit dan terdiri granit biotit, granit horeblenda biotit, mikroleukogranit, mikrogranit horeblenda biotit, dan mafik horeblenda.

DAFTAR PUSTAKA

- Bohling, G., 2005, *Kriging* [Online]. Tersedia : <http://people.ku.edu/~gbohling> [15 April 2014]
- Puspita, W., 2013. *Analisis Data Geostatistik Menggunakan Metode Ordinary kriging*, Universitas Pendidikan Indonesia.
- Telford, W M, L.P. Geldart, and R.E. Sherriff , 1996, *Applied Geophysics Second Edition*, Cambridge University Press, Australia.
- Tipler, 2001, *Fisika Sains dan Teknik*, Erlangga : Jakarta.
- Trianto, Y., 2002. *Pemetaan Nilai Suseptibilitas Magnetik tanah Lapisan Atas di Kodya Surakarta Menggunakan bartington MS2 Sebagai Indikator Sebaran Logam*, Semarang.
- Widhita, Ad., 2008. *Penaksiran Kandungan Cadangan Bauksit di Daerah Mempawah Menggunakan Ordinary kriging Dengan Semivariogram Anisotropik*, Universitas Indonesia, Depok.